Aus der hygienisch-bakteriologischen Abteilung
der Militärärztlichen Akademie Berlin
Leiter: Oberstarzt a. D. Dr. Brekenfeld

Untersuchung über den Wärmegang beim Sterilisieren von verschiedenem Sterilisiergut

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des medizinischen Doktorgrades

an der

Friedrich-Wilhelms-Universität in Berlin

vorgelegt von

EWALD BEERMANN

aus Düsseldorf

Tag der Promotion: 31. Juli 1939

Buchdruckerei Franz Linke, Berlin NW 7, Marienstr. 13

M 131

Gedruckt mit Genehmigung
der
Medizinischen Fakultät der Universität Berlin

Dekan: Prof. Dr. Siebeck
Referent: Dr. Brekenfeld
Korreferent: Prof. Dr. Zeiss

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen lieben Eltern

In letzter Zeit hat die Frage der Sterilisierung große Bedeutung erlangt, ausgehend von dem Bestreben, eine größtmögliche Sicherheit in der Abtötung aller Keime im Sterilisiergut zu erlangen, sei es in klinischen Betrieben oder hygienisch-bakteriologischen Laboratorien. Es ist eine Anzahl mehr oder minder umfangreicher Arbeiten erschienen, die sich mit dieser Frage beschäftigen. Die Mehrzahl befaßt sich nur mit der Untersuchung der Sicherheit der einzelnen Sterilisierverfahren an sich, behandelt also nur Grundsätzliches, z. B. ob und unter welchen Bedingungen bei der Dampfsterilisation im Autoklaven die Temperatur von 100° genügt, oder ob 120° gefordert werden muß.

Dies soll nicht Gegenstand unserer Untersuchung sein. Denn diese Frage scheint dahin entschieden, daß man jetzt allgemein 120° als günstigste Temperatur ansieht und damit arbeitet. Diese Arbeit will den Wärmegang beim Sterilisieren verschiedenen Gutes feststellen und die praktischen Folgerungen für den Sterilisierbetrieb ziehen. Zu diesem Zwecke wurden 72 Versuche angestellt.

Die erste Versuchsreihe (I) befaßt sich mit dem Wärmegang bei Verhältnissen, wie sie im hygienisch-bakteriologischen Laboratorium gegeben sind, wenn der Autoklav wahllos mit gerade vorhandenem Sterilisiergut gefüllt wird. Das Sterilisiergut bestand aus: Wasser, Bouillon, 3proz. Agar und Rindergalle.

Die zweite Versuchsreihe (II) vergleicht die Ausgleichszeiten einer stets gleichbleibenden Menge eines Nährbodens bei Verteilung auf verschieden große und der Zahl nach verschiedene Gefäße. Als Nährboden wurde Bouillon benutzt.

Die letzte Versuchsreihe (III) vergleicht die Ausgleichszeiten gleicher Mengen verschiedenen Sterilisiergutes und zwar von Wasser, Bouillon, Urin, Sputum, Blut-Erdegemisch, Stuhl, Blut, Schweinegalle, rohe Milch, defibriniertes Blut, saure Milch, 3% Agar.

Versuchsanordnung.

Die Versuche wurden mit einem doppelmanteligen, gasbeheizten Autoklaven vorgenommen, hergestellt von der Firma Küster G. m. b. H. Berlin. Maße: 40 cm ∅, 60 cm Höhe. Der Dampf tritt von oben in den Sterilisierraum durch zahlreiche kleine Oeffnungen und wird durch ein in der Mitte des Bodens befindliches großes Rohr abgeführt. An der Mündung dieses Dampfablaßrohres nach außen ist ein Thermometer angebracht, welches die Wärmegrade des abströmenden Dampfes anzeigt.

In das oben befindliche Sicherheitsventil ist das Manometer eingeschaltet, um ständige Kontrolle zu haben, ob im Dampfraum auch der notwendige Druck von 1 Atü herrscht.

Die Temperaturmessungen im Innern des Autoklaven wurden auf thermoelektrischem Wege mit einem Dromotherm ausgeführt. Die Thermoelemente wurden einfach nebeneinander über den Rand des Mantels eingeführt, darüber wurde ein mitteldicker Gummilappen gelegt. Beim Schließen des Deckels preßte sich dann der Gummiring, der in dem vorspringenden Rand des Deckels eingelagert war, zwischen die Drähte, so daß ein vollkommen dichter Verschluß erreicht wurde. Bei richtiger Handhabung brachen auch die Drähte nicht an dieser Stelle des Eintritts in den Autoklaven. Bei den Versuchen mit nur einem Gaskolben befand sich am Boden des Autoklaven ein 4 cm hoher Drahtrost, sa sonst der Kolben mitten auf dem Abzugsrohr gestanden hätte. Dieses mündete nämlich in eine am Autoklavenboden befestigte vorspringende Schraube aus, auf der der Kolben keinen festen Stand gehabt hätte.

Die verwendeten Gefäße, Reagenzgläser und Standkolben waren oben mit einem Wattestopfen verschlossen. Nur das Uringlas und eine Aluminiumkanne wurden oben offen gelassen. Die Befestigung der Thermoelemente war verschieden: In großen und kleinen Reagenzgläsern wurden sie in der Mitte einer nicht ganz kreisrunden Pappscheibe hindurchgeführt, die ½ bis 1 cm oberhalb der Lötstelle der Thermoelemente im Reagenzglas saß. Da sich die Pappe mit zunehmender Erwärmung ausdehnte, haftete sie fest am Glasrand. Der Wattestopfen des Gefäßes bildete den zweiten Festpunkt für den Draht. Auf diese Weise bestand die Gewähr, daß die Lötstelle nicht mit der Wand des Gefäßes in Berührung kam, sondern immer in der Mitte blieb. Bei Erlenmeyerkolben wurde ebenso verfahren, nur daß die Pappscheibe weiter nach oben geschoben werden mußte, so daß sie noch in dem Hals des Kolbens als Führingsring saß. Ein Hin- und Herpendeln der Lötstelle wurde auch durch die Steifheit des Drahtes verhindert. In den großen Kolben (1—5 Liter Inhalt) wurden die Elemente an einem Glasstab in der gewünschten Höhe angebunden. Der Glasstab wurde dann oben am Stopfen so befestigt, daß er sich nicht verschieben konnte. In den Reagenzgläsern und Erlenmeyerkolben wurde nur eine Meßstelle angelegt, in den großen Kolben zwei: die eine 2 cm unterhalb der Oberfläche des Sterilisiergutes, die andere 1½ cm über dem Boden des Gefäßes. In der Arbeit von Hailer und Heiken (1) wurde diese untere, etwas über dem Gefäßboden liegende Stelle als Kaltpunkt bezeichnet, eine Tatsache, die auch unsere Versuche bestätigten. Hierbei ist der Kaltpunkt die Stelle im Gefäß oder in

der ganzen Versuchsanordnung, die als letzte die gewünschte Endtemperatur erreicht. Wenn an dieser Stelle die Temperatur auf 120° gestiegen war, war es auch überall im Gefäß der Fall. Man kann einen Gefäßkaltpunkt im allgemeinen nur im großen Kolben (1 Liter und mehr) feststellen, denn in kleinen Kolben und Reagenzgläsern ist dieser Punkt sehr schwer zu bestimmen. Für sie ist der Dromotherm zu grob, daher die Zeitunterschiede bei kleinen Gefäßen zu gering. Die Eichung der Elemente wurde bis 100° in Wasser ausgeführt und von 100 bis 120° in 80proz. Glyzerinlösung, die Hailer und Heiken angegeben haben. Es wurde in Abständen von 2° geeicht, da es sich herausstellte, daß die Kurve nicht ganz regelmäßig verlief und so daß Verfahren Konrichs (2) falsche Werte ergeben hätte, der auf einem Ordinatensystem die für 100° gefundenen Werte mit denen von 0° verbindet und so eine regelmäßig ansteigende Kurve erhält. Bei der Eichung stellte es sich weiter heraus, daß das Millivoltmeter erst bei Temperaturen von 30° an aufwärts einen Ausschlag zeigte. Auch aus diesem Grunde wollten wir nicht den Wert von 100° mit dem von 0° geradlinig verbinden. Obwohl die einzelnen Elemente untereinander kleine Unterschiede bei der Eichung aufwiesen, blieben diese doch so gering, daß man ohne weiteres einen Mittelwert annehmen konnte.

Gemessen wurde alle 3 Minuten, den kleinstmöglichen Abständen. Es zeigte sich nämlich, daß man bei mehr als 15 Elementen doch immerhin rd. 2 Min. brauchte, um diese 15 Elemente einmal fortlaufend abzulesen, bei weniger Meßstellen wurde in Abständen von 2 Minuten gemessen. In den nachstehenden Aufstellungen wurde der Uebersichtlichkeit wegen meist nur die Ablesung von 6 zu 6 Minuten eingetragen. Da die Messungsdauer von 2 Minuten naturgemäß eine Fehlerquelle bietet, weil die zuerst gemessene Stelle am Ende der Messung nach 2 Min. schon wieder höher ist als die, bei der man am Schluß der Ablesung anlangt, wurde die oberste Meßstelle im freien Autoklaven zu Beginn und am Schluß gemessen. Aus dem Gradunterschied, den diese Messung aufweist, kann man dann ungefähr die genannte Fehlerquelle für die einzelnen Meßstellen berechnen. Bei allen Versuchen wurden drei Meßstellen in den freien Raum des Autoklaven gelegt: O oben unmittelbar unter dem Deckel, M auf halber Höhe an der Wand, U am Boden des Autoklaven, ebenfalls an der Wand. Es wurde streng darauf geachtet, daß die Meßstellen frei hingen und nicht mit dem Metall in Berührung kamen. Auf diese Weise war eine dauernde, genaue Kontrolle über die Wärmeverhältnisse des Sterilisierraumes möglich.

Um ständig den gleichen thermischen Punkt zu haben, von dem man ausging, wurden die Versuche der ersten Reihe nur dann gemacht, wenn der Autoklav bis auf Zimmertemperatur abgekühlt war. Dabei verstehen wir unter thermischem Punkt eine bestimmte Ausgangstemperatur entweder im Wasser des Mantels oder im Sterilisierraum bei geschlossenem Autoklaven, deren Höhe zu Versuchszwecken willkürlich festgesetzt wird. Auf diese Weise hat man die Gewähr, ständig unter gleichen Wärmebedingungen zu arbeiten. Dann erst wurde die ganze Versuchsanordnung aufgebaut, der Deckel geschlossen und angeheizt. Bei 100 ° am Dampfablaßrohr wurde dieses abgestellt. Die erste Messung erfolgte bei 70 °, die zweite bei 95 °, die folgende alle 3 Minuten (bzw. 2 Min.). Die Versuchsanordnung entspricht der Betriebsweise im Laboratorium. Hier steht der Autoklav auch nicht ständig unter Dampf, sondern erst, wenn sich z. B. eine genügende Menge Gefäße mit gebrauchten Nährböden angesammelt hat, werden diese in den Autoklaven gebracht und dieser dann in Betrieb gesetzt.

Bei den anderen Versuchen, bei denen es nur auf die Vergleichszeiten ankam, wurde angeheizt, und die Kolben und Gefäße in den Autoklaven gebracht, kurz bevor das Wasser 100° erreicht hatte. Sobald dieses dann kochte, wurde der Autoklav geschlossen. Dieses Verfahren hatte den Vorteil, daß man den Autoklaven nicht vor jeden Versuch auskühlen lassen mußte, sondern nach kurzem Abkühlen einen neuen Versuch ausführen konnte.

I. Versuchsreihe.

Es wurden erst geringe Mengen Sterilisiergut in den Autoklaven eingebracht und dann im Laufe der Versuche größere Mengen. Verwandt wurden kleine und große Reagenzgläser, kleine und große Erlenmeyerkolben. Als Nährböden wurden eingefüllt: Wasser, Bouillon, 3% Agar und Rindergalle. Die kleineren Reagenzgläser enthielten 9 ccm des Nährbodens, die großen 45 ccm, die kleinen Erlenmeyerkolben 80 ccm, die mittleren 180 ccm. Die Reihenfolge war:

Versuchsanordnung I,1: 15 kleine Reagenzgläser,
„ I,2: 11 kleine und 4 mittlere Erlenmeyerkolben,
„ I,3: 15 mittlere Erlenmeyerkolben,
„ I,4: 80 kleine Reagenzgläser,
12 große Reagenzgläser,

Versuchsordnung I,5: 80 kleine Reagenzgläser,
12 große Reagenzgläser,
12 kleine Erlenmeyerkolben,
4 mittlere Erlenmeyerkolben,
gefüllt mit Wasser, Bouillon, Agar oder Rindergalle.

Zur Kontrolle wurde jeder Versuch doppelt ausgeführt. Da von den Kontrollversuchen nur einer in der Aufstellung berücksichtigt wird, brauchen sie nicht besonders bezeichnet zu werden. Die genaue Anordnung der Gefäße im Autoklaven ist weiter unten jeweils bei den ausführlichen Uebersichten zu den Versuchen I,1—5 beschrieben.

Bei den Versuchen I, 1—3 befand sich in jedem Kolben bzw. Reagenzglas eine Meßstelle. Bei den Versuchen I, 4 und I, 5 wurden die Meßstellen nur auf einige Gefäße verteilt, weil nicht genügend vorhanden waren, um in jedem Gefäß eine anzubringen. Die Meßstelle war auf die oben beschriebene Weise in der Mitte des Gefäßinhalts angebracht. Außer bei den Versuchen I, 4 waren die Körbe ziemlich locker mit den Gefäßen gepackt. Es ist aber nicht angängig, alle Versuche hier zu beschreiben. Es sollen nur die angeführt werden, die bezeichnend auch für die anderen gleichartigen sind.

Deswegen haben wir nur die Versuche, die mit Bouillon ausgeführt wurden, herausgestellt. Dasselbe ergaben die Versuche mit anderen Nährböden, nur mit dem Unterschied, daß ein fester Nährboden sich langsamer erwärmt als ein flüssiger, weil der Wärmeaustausch nicht so rasch vor sich gehen kann.

Betrachten wir nun zunächst die gefundenen Werte, die für die Abtötung von Wichtigkeit sind, nachdem wir zwei Fachausdrücke erläutert haben. Unter Steigezeit verstehen wir die Zeit, in der vom Beginn des Versuchs oder der Inbetriebnahme der Autoklaven die Temperatur von 120 ° erreicht wird. In unserem Falle rechnet die Steigezeit vom Beginn des Versuches bzw. der Ablesung bei 70 °. Dann ist bei der Schlußzusammenstellung noch eine Steigezeit von 70—100 ° aufgeführt, die nur zu Vergleichszwecken aufgeschrieben wurde. Sie wurde bestimmt, indem wir am Thermometer des Dampfablaßrohres 100 ° ablasen und den Zeitpunkt im Versuchsprotokoll vermerkten. Für den praktischen Betrieb des Autoklaven Autoklaven ist die Steigezeit bis 100 ° insofern von Bedeutung, als man aus ihr ersehen kann, ob der Betrieb fehlerfrei läuft. Sie ist — wie wir besonders in der II. Versuchsreihe sehen werden — stets ziemlich gleichmäßig. Größere Abweichungen lassen mit Sicherheit

auf eine Fehlerquelle schließen. Zweitens berücksichtigen wir die Ausgleichszeit. Es ist die Zeitdauer, die vergeht, wenn die freien Meßstellen im Autoklaven: O, M und U 120° zeigen, bis zu dem Augenblick, wo auch der Kaltpunkt diese Temperatur erreicht hat.

Wenn man zuerst den Kopf der Uebersichten zu den Versuchen I, 1—5 (3.—7. Uebersicht) vergleicht, so findet man schon Unterschiede in den Zeiten, in denen die frei im Autoklaven liegende Meßstelle O 100° erreicht hat. Auffallend ist die geringe Zeit in der Uebersicht 3. Auf den ersten Blick möchte man das mit der geringen Menge des Nährbodens in Beziehung bringen. Dem aber widersprechen die Ergebnisse der Versuche mit den anderen Nährböden: Wasser, Agar und Rindergalle und der Kontrollversuch mit Bouillon.

1. Uebersicht:

Steigezeiten (70—100°) der Versuchsanordnung I, 1
Bouillon (Wiederholung) 7 Minuten
Wasser 9 Minuten
Agar 8 Minuten
Rindergalle 8 Minuten.

Daraus ergibt sich, daß es andere Gründe sein müssen, die die Steigezeiten beeinflussen. Es sind dies 1. geringe Schwankungen des Gasdrucks, 2. die mehr oder weniger schnelle Luftaustreibung, wie Konrich (3) und Mündel (4) in ihren Arbeiten nachgewiesen haben. Geringfügige Mengen zurückbleibender Luft können die Erwärmung stark hemmen.

Die wichtigste Frage bleibt die der Ausgleichszeit. Legt man zu ihrer Feststellung nur die Ablesungen der Thermoelemente zugrunde, so beträgt sie in der 3. Uebersicht etwa 1 Minute. Denn da eine fortlaufende Messung aller 18 Meßstellen 2 Minuten dauert, wurde die Kontrollmessung, die zum ersten Mal 120° zeigte, 16 Minuten nach Beginn der Ablesung gemacht. (Beginn der fortlaufenden Messung 14 Minuten nach Versuchsbeginn, Dauer der Messung 2 Minuten, Kontrollmessung unmittelbar danach, also 16 Minuten nach Versuchsbeginn). Da aber bereits nach 17 Minuten alle Meßstellen 120° zeigten, hat der Ausgleich schon nach 1 Minute stattgefunden.

Es ist selbstverständlich möglich und auch anzunehmen, daß diese Temperatur von 120° an der Meßstelle O schon kurze Zeit vorher erreicht wurde, nämlich während der 2 Minuten, die die Messung der übrigen Elemente dauert. Um daher die Ausgleichszeit genauer zu bestimmen, besteht noch die Möglichkeit, die Tem-

peratur des Autoklaven am Manometer abzulesen. Da die Manometer manchmal ungenau arbeiten, wurde es in unserem Falle ständig kontrolliert.

Bei jedem Versuch wurde darauf geachtet, ob ein nennenswerter Unterschied zwischen den Ablesungen am Manometer und denen an den Thermoelementen bestand. Die Kontrolle war auch deswegen erforderlich, weil beim Sterilisieren im Autoklaven das Erreichen von 1 Atü am Manometer als Zeitpunkt für den Beginn der Sterilisierzeit gilt. Wir konnten bei unserem Manometer keine bedeutenden Abweichungen feststellen und hielten uns daher für berechtigt, auch diese Ablesung mitzuverwerten. Da $120^0 = 1$ Atü ist, haben die Meßstellen O, M und U, die im freien Raum hängen, dann eine Temperatur von 120^0, wenn das Manometer 1 Atü anzeigt. Demnach beträgt die wirkliche Ausgleichszeit in Uebersicht 3 = 2 Minuten und nach derselben Weise berechnet 4 = 5 Minuten, 5 = 5 Minuten, 6 = 2 Minuten und 7 = 2½ Minuten.

Nimmt man die anderen Ergebnisse der I. Versuchsreihe hinzu, so ergibt sich, daß die Ausgleichszeit kein einziges Mal über 5 Minuten hinausging.

2. Uebersicht:

I. Versuchsreihe.

Ausgleichszeiten der Versuche:

	I,1	I,2	I,3	I,4	I,5	
Bouillon	2	5	5	2	2½	Min.
Wasser	2	3	5	4	2	„
Agar	4	3	4	3½	4	„
Rindergalle	3	5	4	2	4	„

Auch hier kann man keine unbedingte Beziehung zwischen der Länge der Ausgleichszeit und der Menge und Art des eingebrachten Sterilisiergutes herstellen, denn Wiederholen eines Versuches unter denselben Bedingungen ergab schon ein geringfügiges, unterschiedliches Ergebnis. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß bei den angewandten Versuchsanordnungen, die annähernd denen eines normalen Laboratoriumsbetriebes entsprechen, selbst bei größeren Mengen Nährböden, wenn sie auf kleine Gefäße verteilt sind, die Erwärmung derselben gleichmäßig schnell vor sich geht. Daher ist auch die Ausgleichszeit so gering, daß bei Verlängern der Sterilisierzeit um 3—4, höchstens 5 Minuten, eine genügende Sicherheit der Abtötung vorhanden ist.

Anschließend folgt die Betrachtung der einzelnen Uebersichten.

3. Uebersicht:

Zu Versuch I, 1.

15 kleine Reagenzgläser in einem kleinen viereckigen Korb auf dem Boden des Autoklaven.

Nährboden: Bouillon.
Steigezeit 70—100 °: 4 Minuten.
1 Atü erreicht nach 15 Minuten.

	0'	2'	5'	8'	11'	14'	17'
O	70	95	102	109	113	118	120
M	75	88	102	108	113	118	120
U	75	88	102	109	113	118	120
1	54	75	100	108	113	118	120
2	54	78	102	108	113	118	120
3	54	78	102	108	113	118	120
4	54	78	101	108	113	118	120
5	55	79	102	109	113	118	120
6	53	76	102	109	113	118	120
7	56	77	102	109	113	119	120
8	56	80	102	109	113	119	120
9	56	82	102	109	113	119	120
10	56	84	102	109	113	119	120
11	60	85	103	110	114	119	120
12	61	85	103	110	114	119	120
13	60	85	103	110	114	119	120
14	60	85	103	110	114	119	120
15	60	87	103	110	114	119	120
O	84	100	106	112	115	120	120

In dieser Uebersicht sieht man sehr schön das scheinbare Vorauseilen der letzten Meßstellen, das, wie schon oben erwähnt, darauf beruht, daß man die einzelnen Meßstellen nicht im selben Zeitpunkt, sondern nacheinander mißt. Es tritt auch hervor, daß bei den Temperaturen bis 100 ° die Meßstellen der Nährböden mehr nachhängen als nach 100 °, eine Tatsache, die uns bei allen Versuchen wieder begegnet. Nehmen wir als Beispiel die beiden Meßstellen 2 und 3, die sich gleichmäßig erwärmen. Während sie bei der ersten Messung mit 54 ° noch um 16 ° kälter sind als die Meßstelle O, bei der 2. Messung der Unterschied sogar 17 ° beträgt, sind sie bei der 3. Messung auf der gleichen Höhe wie Meßstelle O. Infolge des scheinbaren Vorauseilens ist der Gradunterschied zwizwischen den ersten Meßstellen und O größer als zwischen den zuletzt gemessenen und O.

4. Uebersicht:

Zu Versuch I, 2.

11 kleine Erlenmeyerkolben außen (Meßstelle 1—11),
4 mittlere Erlenmeyerkolben mitten (Meßstelle 12—15), im großen runden Korb.

Nährboden: Bouillon.

Steigezeit 70—100 °: 7 Minuten.

1 Atü erreicht nach 18 Minuten.

		0'	2'	5'	8'	11'	14'	17'	20'	23'
	O	70	95	98	102	107	112	118	120	120
	M	68	96	97	101	107	112	118	120	120
	U	70	78	98	102	107	112	118	120	120
	1	38	41	85	98	105	113	115	118	120
	2	37	41	80	98	106	113	115	118	120
	3	38	41	90	99	106	113	115	118	120
	4	41	44	94	99	107	112	115	118	120
	5	40	50	93	99	107	112	115	118	120
	6	57	70	96	100	109	113	117	119	120
	7	40	50	92	101	108	112	115	118	120
	8	38	44	89	99	106	112	115	118	120
	9	38	44	89	99	106	112	115	118	120
	10	38	51	92	99	106	112	115	118	120
Mitte	11	36	50	93	99	107	112	115	118	120
Mitte	12	35	51	93	99	107	112	115	118	120
Mitte	13	35	51	93	99	107	112	115	118	120
Mitte	14	36	51	93	99	107	112	115	118	120
Mitte	15	36	54	93	99	107	112	115	118	120
	O	93	97	98	103	111	114	119	120	120

Meßstelle 6 war herausgerutscht, da der Hals gebrochen war.

In der Aufstellung 4 kommt deutlich zum Ausdruck, daß die mittleren Kolben gegenüber den kleinen bei der ersten Messung etwas zurückblieben, denn statt daß sie — als letzte Meßstellen — scheinbar etwas vorauseilen, sind sie noch 1—5 ° niedriger als die Meßstellen der kleinen Kolben. Das kommt aber nicht daher, weil sie in der Mitte des Korbes stehen. Das werden wir noch klarer im folgenden Versuch sehen. Der Grund ist vielmehr darin zu suchen, daß ein kleines Gefäß weniger Rauminhalt hat als ein großes. Deswegen wird die Luftaustreibung in ihm schneller vor sich gehen als im großen. Bei kleinen Gefäßen kommt außerdem der Wärmeeinwirkung von der Seite her eine größere Bedeutung

zu, deswegen machen sich hierbei auch schon geringe Unterschiede der Wanddicke geltend. Also wegen der verschiedenen Größe und damit des verschiedenen Fassungsvermögens der Gefäße, der dadurch bedingten längeren Luftaustreibung und der verschiedenen Wanddicke sieht diese Uebersicht nicht so einheitlich aus wie die vorige. Denn bei der Ablesung nach 5 Minuten ist in Uebersicht 3 nur ein geringer Gradunterschied zwischen den einzelnen Meßstellen. Hier hingegen beträgt der größte Unterschied (zwischen Meßstelle 0 und 2) immerhin noch 15 ^{0} bei der entsprechenden Messung.

5. Uebersicht:

Zu Versuch I, 3.

15 mittlere Erlenmeyerkolben in einem großen und kleinen runden Korb.

Nährboden: Bouillon.

Steigezeit: 70—100 ^{0}: 8 Minuten.

1 Atü erreicht nach 22 Minuten.

		0'	3'	6'	9'	12'	15'	18'	21'	24'	27'
	O	70	95	97	101	105	110	113	116	120	120
	M	65	95	95	98	102	107	112	116	120	120
	U	66	88	96	100	103	108	112	116	120	120
Außen im gr. Korb	1	35	38	84	97	102	106	111	114	118	120
	2	35	38	86	97	102	107	111	114	118	120
	3	35	36	82	96	102	106	111	114	118	120
	4	35	38	82	94	99	105	111	114	118	120
	5	35	38	88	97	99	107	112	115	119	120
	6	35	38	82	96	100	105	112	115	119	120
	7	35	38	84	98	103	108	112	115	118	120
	8	35	38	87	97	102	108	112	115	119	120
	9	35	38	88	97	102	107	112	115	119	120
Innen i. gr. Korb	10	35	38	89	99	103	109	112	115	119	120
	11	35	39	89	98	102	107	112	116	120	120
Im kl. Korb	12	35	70	96	100	103	109	113	116	120	120
	13	36	70	97	100	105	109	114	116	120	120
	14	36	68	97	100	105	109	114	116	120	120
	15	36	70	98	100	105	109	114	116	120	120
	O	93	97	100	104	109	112	115	120	120	120

Uebersicht 5 zeigt, daß es gleichgültig ist, ob die Kolben in der Mitte oder am Rand des Korbes bzw. des Autoklaven stehen. In der Uebersicht sehen wir nämlich nur einen Unterschied zwischen

den Meßstellen im kleinen Korb (12—15) und denen im großen Korb (1—11). Wir können aber keinen Unterschied finden zwischen den Kolben (1—9), die am Rand des großen Korbes stehen und (10—11), die sich in der Mitte desselben befinden. Das gilt aber nur, wenn — wie wir gleich sehen werden — die Gefäße locker gepackt sind und von allen Seiten von Dampf umströmt werden können. Der Eintritt des Dampfes von oben wirkt also in diesem Falle gleichzeitig auf alle in einer Ebene stehenden Kolben ein. Weiter ist lie bei I, 1 das scheinbare Vorauseilen der letzten Meßstellen ersichtlich.

6. Uebersicht:

Zu Versuch I, 4.

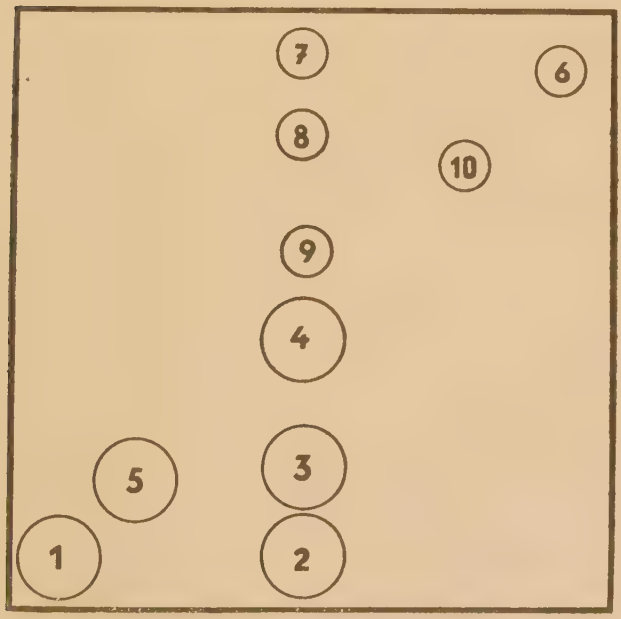
80 kleine und 12 große Reagenzgläser in einem großen viereckigen Korb.

Nährboden: Bouillon.

Meßstellen siehe Zeichnung.

Steigezeit 70—100°: 8 Minuten.

1 Atü erreicht nach 19 Minuten.



	0'	3'	6'	9'	12'	15'	18'	21'
O	70	95	98	106	110	114	119	120
M	74	92	97	105	109	114	119	120
U	58	84	97	105	109	114	119	120
1	45	56	96	102	109	113	117	120
2	43	55	95	102	109	113	117	120
3	40	41	92	103	108	113	117	120
4	40	41	95	103	109	113	117	120
5	41	48	96	103	109	113	118	120
6	50	65	97	104	110	114	118	120
7	50	63	98	105	111	114	118	120
8	44	55	97	105	110	114	118	120
9	41	44	97	105	110	114	118	120
10	42	65	97	105	111	114	118	120
O	82	97	99	107	112	115	120	120

1—5 kleine Reagenzgläser.
6—10 große Reagenzgläser.

Diese Uebersicht zeigt nun etwas, was mit dem Ergebnis des vorhergeganegnen Versuches in Widerspruch zu stehen scheint. Denn bei der ersten Messung sind bei den kleinen Reagenzgläsern die Meßstellen 1 und 2 (außen) den 3 Meßstellen in der Mitte um einige Grade voraus. Bei den großen Reagenzgläsern ist der Unterschied zwischen den Meßstellen am Rand des Korbes (6 und 7) und denen in der Mitte noch größer.

Bei der 2. Messung (nach 3 Minuten) ist dieser Unterschied noch auffallender. Die Meßstellen 1 und 4 liegen um 15^0 auseinander, während Meßstelle 5, die mehr zum Rand als zur Mitte hin liegt, schon etwas aufgeholt hat. Bei den großen Reagenzgläsern liegen die Meßstellen 6 und 9 sogar 21^0 auseinander. Die der Meßstelle 5 entsprechende Meßstelle 10 ist aber schon bedeutend näher an 6 herangekommen.

Im ganzen also sehen wir, daß bei diesem Versuch die Wärme nicht gleichmäßig auf alle in einer Ebene stehenden Gefäße einwirkt, sondern daß sie vom Rand nach der Mitte zu fortschreitet.

Dieses Verhalten ist so zu erklären, daß dieses Mal die Reagenzgläser so eng nebeneinander standen, daß nur die Gefäße am Rand der Einwirkung des Dampfes von der Seite her zugänglich waren. Die Gefäße in der Mitte des Korbes hingegen wurden zuerst nur von dem Dampf erwärmt, der durch den Wattestopfen von oben einströmte. Erst später erreichte die von der Seite eindringende Wärme auch die mittleren Gefäße.

Um dieses Verhalten nachzuprüfen, wurde ein 2. Versuch gemacht. Bei diesem wurden nicht nur 1 sondern je 2 Meßstellen in der Mitte des Korbes angebracht. Das Ergebnis war dasselbe.

7. Uebersicht:

Zu Versuch I, 5.

Großer runder Korb mit 12 kleinen Erlenmeyerkolben (Meßstelle 1—3 außen im Korb) und 4 Erlenmeyerkolben (Meßstelle 4 bis 5 mitten im Korb); darüber 1 gr. viereckiger Korb mit 12 großen Reagenzgläsern (Meßstelle 6 und 7); neben dem großen Korb 2 kleine Körbe mit je 20 kleinen Reagenzgläsern (Meßstelle 8—11); als 3. Schicht nochmals 2 kleine Körbe mit je 20 kleinen Reagenzgläsern (Meßstelle 12—15).

Unten: erste Schicht: Meßstelle 1—5,

Mitte: zweite Schicht: Meßstelle 6—11,

Oben: dritte Schicht: Meßstelle 12—15.

Nährboden: Bouillon.

Steigezeit 70—10 ^{0} 12 Minuten.

1 Atü erreicht nach 24½ Minuten.

		0'	3'	6'	9'	12'	15'	18'	21'	24'	27'
	O	70	95	98	98	100	105	109	116	118	120
	M	52	58	99	98	100	105	109	116	118	120
	U	69	74	80	98	100	105	109	116	118	120
Unten	1	44	48	63	96	100	105	109	115	118	120
	2	36	38	43	92	99	103	109	114	117	120
	3	36	39	43	93	99	103	108	114	117	120
	4	35	36	38	91	98	103	108	114	117	120
	5	35	36	40	88	97	103	107	114	108	120
Mitte	6	40	50	97	98	100	105	109	115	118	120
	7	40	48	97	98	100	105	109	115	118	120
	8	45	55	97	98	100	105	110	115	118	120
	9	45	58	97	98	100	106	110	115	118	120
	10	42	53	97	98	100	106	110	115	118	120
Oben	11	44	53	97	98	100	106	110	116	118	120
	12	55	94	97	98	102	107	110	116	118	120
	13	60	96	97	98	102	107	110	116	118	120
	14	60	96	97	98	102	107	110	116	118	120
	15	60	96	97	98	102	107	110	116	118	120
	O	92	97	98	98	103	108	112	116	120	120

Aufstellung 7 zeigt sehr klar, wie die Wärme von oben nach unten fortschreitet. Schon der Vergleich der 3 Meßstellen im freien Raum zeigt große Unterschiede. Während bei der 1. Messung die obere und untere Meßstelle annähernd gleich hoch sind, ist die mittlere merklich zurückgeblieben. In der 2. Messung ist dies noch auffallender. Die obere schnellt in die Höhe, die mittlere und untere steigen aber ungleich langsamer und bleiben weit zurück. Erst bei der 4. Ablesung, also nach 9 Minuten sind sie ausgeglichen. Dieses Verhalten beruht auf der Anordnung der Körbe im Autoklaven. Je mehr Körbe im Autoklaven sind, desto mehr Luftinseln entstehen, die ein gleichmäßiges Eindringen des Dampfes in alle Zwischenräume verhindern. Deswegen wird es selbst im freien Raum immer Stellen geben, die noch lufthaltig sind und aus diesem Grunde sehr niedrige Temperaturen haben, während andere schon bedeutend wärmer sind. Besonders deutlich ist das Zurückbleiben der einzelnen Schichten untereinander.

Während bei der 2. Messung die obere Schicht schon durchweg bei 95° ist, ist die untere mit Ausnahme der 1. Meßstelle noch nicht einmal auf 40° erwärmt. Daraus erhellt, daß man am besten den Autoklaven so füllt, daß oben die größeren Gefäße stehen und unten die kleinen. Denn die größeren Gefäße, die sich langsamer erwärmen, stehen dann an der Stelle im Autoklaven, an der sie zuerst der stärksten Wärmewirkung ausgesetzt sind. Wenn die kleinen Gefäße auch erst später so stark erwärmt werden, weil sie unten stehen, so kommen sie wegen des geringen Fassungsvermögens schnell nach. In der 2. Schicht ergibt sich noch ein geringer Unterschied zwischen den großen und kleinen Reagenzgläsern, der ja ohne weiteres erklärlich ist. Allerdings hört der Unterschied nach der 2. Messung wieder auf. Denn da die Körbe nicht so voll gepackt waren wei bei 4, hatten die in einer Schicht stehenden Gefäße ziemlich dieselben Bedingungen für den Dampfzutritt. Deswegen kann man das Nachhinken der großen Reagenzgläser ausschließlich auf die größere Menge des Nährbodens und die langsamere Luftaustreibung zurückführen. Das Vorauseilen des 1. Elementes konnte nicht erklärt werden. Eine Nacheichung ergab nichts besonderes und bei Versuchen an den folgenden Tagen arbeitete es normal. Der Grund wird in der Beschaffenheit des Gefäßes oder des Nährbodens zu suchen sein.

Will man zum Schluß dieser Versuche die Menge des eingebrachten Nährbodens mit den verschiedenen Zeiten in Beziehung setzen, so ergibt sich folgende Zusammenstellung:

8. Uebersicht:

Bouillon	Menge	Steigezeit 70—100 °	Steigezeit 70—120 °	Ausgleichszeit
Vers. I, 1	120 ccm	4 Min.	15 Min.	2 Min.
„ I, 2	1180 ccm	8 Min.	19 Min.	2 Min.
„ I, 3	1600 ccm	7 Min.	18 Min.	5 Min.
„ I, 4	2700 ccm	8 Min.	22 Min.	5 Min.
„ I, 5	2860 ccm	12 Min.	24 Min.	2½ Min.

Die Steigezeit (70—100 °) — siehe auch die Aufzählung in der 1. Uebersicht — liegt bei ungefähr 8 Minuten. Das Abweichen in Versuch 1 und 5 ist anscheinend auf verschieden starken Gasdruck zurückzuführen, jedenfalls von der Menge unabhängig.

Nimmt man die Steigezeiten der II. Versuchsreihe hinzu, so ist die Zeit auch dort sehr einheitlich.

Außerdem stellten wir fest, daß der thermische Punkt derselbe ist, wenn man das Kochen des Wassers bei noch offenem Autoklaven zum Ausgangspunkt nimmt oder das Erreichen von 70 ° der Meßstelle O des schon geschlossenen Autoklaven.

Daher ergibt sich, daß sowohl bei der I. wie bei der II. Versuchsreihe die Zeit ungefähr 8 Minuten beträgt.

Die Steigezeit (70—120 °) steigt etwa mit der der Menge des Nährbodens, doch zeigt auch sie Schwankungen wie z. B. bei I, 2.

Ebenso verhält es sich mit der Ausgleichszeit. Sie steigt zwar zuerst, je mehr Nährboden eingefüllt wurde, doch bei Versuch I, 5, bei dem fast 3 Liter verwandt wurden, beträgt sie wieder nur 2½ Minuten.

Wir erklären dieses Verhalten durch die Anordnung der Körbe. Es entstehen bei dieser großen Anzahl Körbe viele kleine, mehr oder weniger abgeschlossene Räume. Diese befinden sich in einem ständigen Luft- und Wärmeaustausch, so daß eine gleichmäßig schnelle Erwärmung des freien Autoklavenraumes wie in den anderen Versuchen nicht möglich ist. Durch diesen ständigen Austausch ist der Wärmeunterschied zwischen den Meßstellen O, M und U und den Meßstellen in den Nährböden nie sehr groß, was sich dann am Schluß auch in der geringen Ausgleichszeit bemerkbar macht.

Bei diesen Versuchen sind die Zeiten also nicht immer in genaue Abhängigkeit zu der Menge zu bringen. Außerdem sind die Schwankungen so gering, daß man sie unberücksichtigt lassen kann.

Auf die Bedeutung der Ausgleichszeit wurde eingangs schon hingewiesen, ebenso auf die daraus zu ziehende Folgerung.

II. Versuchsreihe.

Um festzustellen, ob und welche Beziehungen zwischen der Betriebszeit und der Verteilung der gleichen Menge eines Nährbodens auf verschieden große Gefäße bestehen, wurden 4 Versuche gemacht. Es wurden 4 Liter Bouillon 1. in einen 5-Liter-Kolben, 2. zu je 2 Liter in zwei 3-Liter-Kolben, 3. zu ju 1 Liter in vier 2-Liter-Kolben und 4. zu je 400 ccm in zehn ½-Liter-Kolben gefüllt und sterilisiert. Die Meßstellen wurden genau so befestigt wie in der I. Versuchsreihe. In dem freien Raum des Autoklaven wurden wie vorher 3 Meßstellen angebracht. O: oben, M: Mitte und U: unten.

9. Uebersicht:

Zu Versuch II, 1.

4 Liter in einem 5-Liter-Kolben.
Meßstelle 1 oben im Nährboden.
Meßstelle 2 unten im Nährboden.
Steigezeit 70—100°: 9 Minuten.
1 Atü erreicht nach 18 Minuten.
Ausgleichszeit: 24 Minuten.

	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'
O	100	105	103	119	120	120	120	120
M	100	103	103	119	120	120	120	120
U	100	103	103	118	120	120	120	120
1	35	92	104	113	118	118	120	120
2	30	83	99	109	114	117	118	120

10. Uebersicht:

Zu Versuch II, 2.

4 Liter zu je 2 Liter auf zwei 3-Liter-Kolben verteilt.
Meßstellen wie bei II, 1.
Steigezeit 70—100°: 8 Minuten.
1 Atü erreicht nach 14 Minuten.
Ausgleichszeit: 14 Minuten.

	0'	6'	12'	18'	24'	28'
O	100	109	115	120	120	120
M	100	109	115	120	120	120
U	100	109	115	120	120	120
1	77	96	107	114	116	120
2	65	91	106	114	115	120
1	75	96	109	114	116	120
2	67	92	103	114	116	120

11. Uebersicht:

Zu Versuch II, 3.

4 Liter zu je 1 Liter auf vier 2-Liter-Kolben verteilt.
Meßstellen wlie bei II, 1.
Steigezeit 70—100°: 8 Minuten.
1 Atü erreicht nach 13 Minuten.
Ausgleichszeit: 12 Minuten.

		0'	6'	12'	18'	24'	25'
	O	100	105	116	120	120	120
	M	100	104	116	120	120	120
	U	100	104	116	120	120	120
oben im Autoklaven	1	84	99	113	118	118	120
	2	80	94	109	116	117	120
	1	90	102	115	118	118	120
	2	79	97	113	116	118	120
unten im Autoklaven	1	73	93	107	114	117	120
	2	73	93	105	114	115	120
	1	76	95	107	115	117	120
	2	73	92	105	114	116	120

12. Uebersicht:

Zu Versuch II, 4.

4 Liter zu je $^4/_{10}$ Liter auf zehn $^1/_2$-Liter-Kolben verteilt. 6 Kolben in einem großen Korb, unten. 4 Kolben in einem kleinen Korb darauf gestellt. In jedem Kolben eine Meßstelle, nur 5 Meßstellen aufgeführt.
Meßstelle 1—3 unten im großen Korb.
Meßstelle 4 und 5 oben im kleinen Korb.
Steigezeit 70—100°: 9 Minuten.
1 Atü erreicht nach 11 Minuten.
Ausgleichszeit: 9 Minuten.

	0'	6'	12'	18'	20'
M	100	109	120	120	120
U	100	109	120	120	120
1	82	106	113	118	120
2	83	106	113	118	120
3	84	106	113	118	120
4	96	107	116	120	120
5	96	107	116	120	120

Vergleicht man zunächst einmal wieder die Steigezeiten bis 100° und zieht man auch die Ergebnisse der I. Versuchsreihe heran, so sieht man, daß genau wie dort das Erreichen von 100° im freien Raum fast unabhängig von der Art und Menge des eingebrachten Nährbodens ist. Ein Unterschied zeigt sich erst in der Zeit, in der 1 Atü erreicht wird. In der I. Versuchsreihe kam dieser Unterschied nicht so zum Ausdruck, denn 1. waren die Mengen nicht so groß wie hier (bei der I. Reihe als höchste Menge nur 2860 ccm, bei der II. Reihe hingegen 4 Liter) und 2. war die Verteilung größer.

Die Steigezeit wird diesmal erst dann auf ein günstiges Maß herabgedrückt, wenn man das Sterilisiergut auf mehrere Gefäße verteilt. Ebenso verhält es sich mit der Ausgleichszeit. Beim 5-Liter-Kolben beträgt sie z. B. 24 Minuten. Greifen wir nun auf die Erfahrungen der 1. Versuchsreihe zurück. Dort fanden wir, es sei zweckmäßig, zur größeren Sicherheit der eigentlichen Sterilisierzeit noch 5 Minuten hinzuzufügen. Das wären also vom Erreichen von Atü an gerechnet 20 Minuten. Nach diesen 20 Minuten (Ausgleichs- + Sterilisierzeit) hat noch nicht einmal die günstigste Stelle der Versuchsanordnung 120° erreicht. Bis dahin dauert es noch 4 Minuten. Unter diesen Umständen konnte bei diesem Verlauf mit einer sicheren Sterilisationswirkung nicht gerechnet werden.

Bei den Versuchen der I. Reihe beträgt die Ausgleichszeit — einen fehlerfreien Verlauf vorausgesetzt — höchstens 5 Minuten. Bei der günstigsten Anordnung dieser Versuchsreihe II, 4 hingegen beträgt sie 9 Minuten, ist also immerhin fast doppelt so hoch.

Aus diesen Feststellungen sieht man, wie unwirtschaftlich und vor allen Dingen zeitraubend und unter Umständen fehlerhaft das Sterilisieren von großen Mengen Sterilisiergut in einem oder zwei großen Gefäßen sein kann. Es wird sich oft die geringe Mühe verlohnen, den Nährboden oder sonstiges Sterilisiergut auf ein paar kleine Gefäße zu verteilen.

In der 3. und 4. Anordnung dieser Reihe sind die günstigsten Bedingungen zum Sterilisieren gegeben. Während man große Mengen wohl oft aus verschiedenen Gründen nicht auf so viele Gefäße verteilen kann, wie es bei 4 geschehen ist, so wird sich die Verteilung zu je 1 Liter häufig gut durchführen lassen und damit schon eine weitgehende Sicherheit, Zeit- und Kostenersparnis erreicht sein.

III. Versuchsreihe.

Ausgehend von der Tatsache, daß es z. B. bedeutend länger dauert um 1 Liter Agar auf 120° zu erhitzen als 1 Liter Wasser

auf dieselbe Temperatur zu bringen, wurden die folgenden Versuche gemacht. Es sollte festgestellt werden, ob und inwieweit die Unterschiede der für den Autoklavenbetrieb wichtigen Zeiten abhängig sind von dem flüssigen oder festen Zustand, d. h. dem Aggregatzustand der Nährböden und anderen anfallenden Sterilisiergutes. Als solches diente: Wasser, Bouillon, Urin, Sputum, Blut- und Erdegemisch, Stuhl, Blut, Schweinegalle, rohe Milch, defibriniertes Blut, saure Milch, Agar.

Bouillon, Galle, Agar wurden verwandt, weil diese zu den Nährböden gehören, die fast täglich im hygienisch-bakteriologischen Laboratorium sterilisiert werden. Blut-Erdegemisch interessierte vor allem deswegen, weil bekanntlich die darin befindlichen Sporen beim Sterilisieren besonders schwer abzutöten sind und dieses Gemisch deswegen in der hygienisch-bakteriologischen Abteilung der Militärärztlichen Akademie bei Instrumentensterilisierversuchen mit Vorliebe verwendet wurde. Das Sterilisieren von Urin, Sputum und Stuhl hat praktische Bedeutung für Krankenhäuser. Wasser, Blut, defibriniertes Blut, rohe und saure Milch wurden verwandt, weil auch diese nicht allzu selten keimfrei gemacht werden müssen.

Trotzdem nach Möglichkeit dieselben Tageszeiten zu den Versuchen benutzt wurden, um möglichst gleichmäßigen Gasdruck zu haben, wurden doch geringe Schwankungen in der Betriebszeit festgestellt. Die angegebenen Werte sind deswegen nur als Annäherungswerte zu betrachten.

Die Versuchsanordnung war ähnlich wie vorher. Als Gefäße verwandten wir 3-Liter-Kolben. Blut-Erdegemisch, Urin, Sputum und Stuhl wurden in Uringläser gefüllt, weil diese Gläser normalerweise im Krankenhaus zum mindesten für Urin und Sputum gebraucht werden; das frische Blut wurde in einer Aluminiumkanne sterilisiert. Jedes Gefäß wurde für den Versuch einzeln in den Autoklaven gebracht. Die Meßstellen O, M, U lagen wie bei den ersten Versuchen. Auf dem Boden des Autoklaven war aus dem eingangs erwähnten Grund ständig ein 4 cm hoher Drahtrost gelegt. Auf diesem Rost standen die Kolben und Uringläser. Wenn Gefahr bestand, daß durch Quellung des Nährbodens die Gefäße springen könnten, wurde überdies noch eine große Koch'sche Schale unter die Kolben und Uringläser gestellt. Die Meßstellen im Nährboden waren wie vorher an einem Glasstab befestigt, die eine 2 cm unter der Oberfläche, die andere 1½—2 cm über dem Boden des Gefäßes. Bei den Versuchen mit Sterilisiergut im Uringlas wurde über den oberen Rand ein Holzstab gelegt und befestigt, mit dem dann die Glasstäbe mit den Meßstellen daran fest ver-

bunden waren. Zeitweise wurden im Uringlas noch zwei weitere Meßstellen angebracht, die auf halbem Wege zwischen Mitte und Gefäßrand lagen, um die Wärmeeinwirkung von der Seite her zu prüfen.

Zu den einzelnen Nährböden ist folgendes zu bemerken. Die Milch wurde frisch in den Kolben gefüllt, da man sie nach Sauerwerden nicht mehr einbringen konnte, ohne die homogene Masse in dem schmalen Kolbenhals wieder zu zerreißen. Nach dem Dickwerden wurden dann vorsichtig die Meßstellen angebracht. Das Blut wurde durch Schlagen mit einem Reisigbesen defibriniert. Das nicht defibrinierte Blut wurde sofort nach der Entnahme auf dem Schlachthof in eine 3 Liter fassende Aluminiumkanne gefüllt. Bis es in den Autoklaven gebracht war, hatte sich der Blutkuchen gesetzt. Diese Anordnung wurde gewählt, da man das Blut, das nach dem Versuch eine vollkommen steife Masse bildete, aus dem Kolben nicht herausbekommen hätte, ohne das Glas zu zerschlagen. Außerdem war zu erwarten, daß bei der Gerinnung des Blutes und der damit verbundenen Ausdehnung der Kolben springen würde. In der Kanne waren wie im Uringlas 4 Meßstellen angebracht. Das Gemisch von Blut und Erde wurde im Verhältnis 10:9 hergestellt. Stuhl wurde von einer Klinik bezogen. Er wurde dort sofort in der gewünschten Menge in das Uringlas gefüllt. Es war daher ein Gemisch von geformtem und ungeformtem Stuhl. Es erübrigt sich, jeden einzelnen Versuch genau durch eine Tabelle zu beschreiben. Sie wiesen in ihrem Verlauf außer der weiter unten angeführten Besonderheit keinen Unterschied auf.

Bei allen wurde nach ungefähr 15 Minuten an den Meßstellen O, M, U 1 Atü erreicht. Der einzige, dafür aber um so bedeutendere Unterschied zeigt sich in der Ausgleichszeit.

Nachstehend folgen die Werte:

13. Uebersicht:

Nährboden		Ausgleichszeit
Wasser	(2 Liter)	10 Minuten
Bouillon	(2 Liter)	12 „
Schweinegalle	(2 Liter)	21 „
Urin	(1250 ccm)	24 „
Rohe Milch	(2 Liter)	25 „
Agar	(2 Liter)	32 „
Saure Milch	(2 Liter)	34 „
Defrb. Blut	(2 Liter)	34 „
Sputum	(1250 ccm)	36 „
Blut und Erde	(1250 ccm)	42 „
Stuhl	(1250 ccm)	115 „
Blut	(2 Liter)	242 „

Wasser hat naturgemäß die geringste Ausgleichszeit. Dann folgt Bouillon. Darauf rohe Milch, Schweinegalle und Urin. Dabei fällt auf, daß die Ausgleichszeit von Urin ungefähr so hoch ist, wie die der doch dickflüssigeren rohen Milch und Schweinegalle. Offenbar liegt es am Eiweißgehalt, daß die Erwärmung bei diesen so verhältnismäßig langsam vor sich geht. Beim Urin werden wahrscheinlich die Farbstoffe und andere organische Substanzen die Erwärmung hemmen. Auf etwa einer Höhe liegen dann Agar, saure Milch, defibriniertes Blut und Sputum. Dieses Ergebnis überrascht, läßt sich aber wohl dadurch erklären, daß Agar und Sputum verhältnismäßig rasch flüssig werden. Eine Sonderstellung nehmen Stuhl und Blut mit fast 2 bzw. gut 4 Stunden Ausgleichszeit ein. Im ganzen genommen ist ersichtlich, daß die Zeit der Erwärmung mit der Konsistenz zunimmt.

Daß das nach der Defibrinierung dünnflüssige Blut doch noch eine den dickflüssigen Nährböden entsprechende Ausgleichszeit hat, beruht wohl sicher auf dem hohen Eiweißgehalt des Serums und der Blutkörperchen.

Der Kuchen des nicht geschlagenen Blutes brauchte selbstverständlich lange Zeit, um 120° zu erreichen, da keine Möglichkeit eines Wärmeaustausches durch bewegliche Teilchen bestand.

Zu dem Versuch mit Blut-Erdegemisch muß noch gesagt werden, daß das Uringlas gesprungen war und zwar erst zu einem Zeitpunkt, wo das Blut schon durch Gerinnung zusammen mit der Sporenerde zu einem festen Kuchen verbacken war. Denn die Form blieb erhalten. Der Sprung ging aber gerade so, daß er von oben spiralig bis zu der Stelle des Bodens lief, über der der untere

Meßpunkt lag. Daraus ergab sich die während des Versuches nicht erklärbare Tatsache, daß die untere Meßstelle immer der oberen um einige Grade voraus war. Dies beruhte darauf, daß die untere Meßstelle näher an der Außenfläche des Nährbodens gelegen war als die obere. Außerdem konnte das Glas jetzt durch den Sprung den Zutritt der Wärme nicht mehr hindern. Der Versuch wurde nicht wiederholt, da zu erwarten war, daß bei der Quellung das Glas wiederum springen würde. Eine Ausdehnung nach oben war bei der gewählten Menge wegen der Verengerung des Glashalses nicht möglich. Einen Schluß auf die endgültige Dauer der Erwärmung läßt der Versuch nicht zu. Beim Mischen und Schlagen nämlich entstanden reichlich Luftbläschen. Diese wirkten neben dem Eiweiß, das an sich schon ein schlechter Leiter ist, als Isolatoren.

Auch diese Versuchsreihe zeigt, welche Bedeutung neben der Menge des Nährbodens seiner Konsistenz für die Betriebszeit eines Autoklaven zukommt. Je fester jene ist, desto größer wird die Ausgleichszeit. Aus wirtschaftlichen Erwägungen wird man große Ausgleichszeiten nach Möglichkeit zu vermeiden suchen. Das ist nur durch Verteilung dis Sterilisiergutes auf möglichst kleine Gefäße möglich. Auch aus Gründen der Zeitersparnis ist das zweckmäßig, besonders wenn nur ein Apparat zum Sterilisieren zur Verfügung steht.

Zum Schluß sei noch ein Versuch angeführt, bei dem Agar, Bouillon und Wasser zu gleicher Zeit in den Autoklaven eingebracht wurden. Während bei den anderen Versuchen ständig beim einzelnen Versuch ein und derselbe Nährboden verwandt wurde, zeigt diese Zusammenstellung deutlich, wie verschieden der Wärmegang der einzelnen Nährböden auch bei ganz gleichen Versuchsbedingungen ist. Da bei dieser Versuchsreihe die Spanne von 6:6 Minuten in der Tabelle manchmal zu weit war, wurden bei den in Frage kommenden Temperaturen auch die sonst ausgelassenen Messungen nach jeweils 3 Minuten angeführt.

14. Uebersicht:

I. 2 Liter Agar in einem 3-Liter-Kolben
(Meßstelle 1 a oben, 1 b unten im Nährboden).

II. 450 ccm Agar, Bouillon und Wasser in je einem 1-Liter-Kolben
(Meßstellen: 2, 3 und 4, jeweils in der Mitte des Kolbens).

III. 180 ccm Agar, Bouillon und Wasser in je einem ½-Liter-Kolben
(Meßstellen: 5, 6 und 7, jeweils in der Mitte des Kolbens).

Steigezeit 70—100° 8 Minuten.
1 Atü erreicht nach 11 Minuten.

	0'	6'	12'	15'	18'	21'	24'	27'	30'	36'	39'	42'	48'	54'	57'
O	100	115	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
M	100	115	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
U	100	115	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
1a	43	63	73	76	82	85	89	93	113	115	115	116	118	118	120
1b	35	55	63	67	71	73	75	79	82	89	98	112	116	118	120
2	35	50	63	72	80	93	116	117	118	119	120	120	120	120	120
3	87	110	118	118	119	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
3	87	110	118	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
5	45	65	83	90	118	118	119	120	120	120	120	120	120	120	120
6	87	110	118	118	119	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
7	95	113	119	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
O	100	116	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120

I (2, 3, 4) = 450 ccm II (5, 6, 7) = 180 ccm.

Zuerst erreichen die beiden mit Wasser gefüllten Kolben 120°. Wenige Minuten später die mit Bouillon. Von dem Augenblick an, wo die Kolben 3—7 die Abtötungstemperatur erreicht haben, also 27 Minuten nach Beginn des Versuchs, dauert es 12 Minuten, bis der mittlere mit Aga rgefüllte Kolben (2) soweit ist. Noch größer aber wird die Spanne, bis die beiden Meßstellen in Kolben 1, die sich gegen Schluß gleichzeitig erwärmen, auch auf 120° gebracht sind. Sie beträgt immerhin noch weitere 18 Minuten. Außerdem ist bemerkenswert, daß der mit 450 ccm Bouillon gefüllte Kolben eher als der mit nur 180 ccm Agar gefüllte 120° erreichte. Darüber hinaus findet man aber bei den Tabellen, die die Erwärmung von Agar aufzeigen, noch eine Besonderheit, die auch vorher bei den Vergleichsversuchen der 3. Versuchsreihe gefunden wurde. Es ist dies die Tatsache, daß die Temperatur in ungewöhnlich kurzer Zeit von ± 85° auf ± 115° springt, während sie vor- und nachher gleichmäßig steigt. Die Erklärung dieser Eigentümlichkeit ergibt sich aus der Eigenschaft des Agars bei der Erhitzung, nicht als Ganzes auf einmal flüssig zu werden. Es geschieht dies zuerst an den Wänden des Gefäßes. Deswegen bleiben besonders in der Mitte des Nährbodens noch Agarteile gallertartig. In ihnen stecken die Meßstellen. Erst wenn auch diese letzten Klumpen geschmolzen sind, kommt das plötzliche Ansteigen der Temperatur, weil sich die jetzt flüssigen Massen schneller erwärmen als die vorher noch gallertigen. Aus demselben Grunde ist die Meßstelle 1 a dem Thermoelement 1 b voraus; denn obwohl sie beide gleich weit von der Peripherie des Agar entfernt liegen, hemmt der Gefäßboden die Einwirkung der Wärme von unten, während von oben die

Wärme ungehindert direkt auf die Oberfläche des Agar einwirkt. Es ist also die untere Meßstelle 1 b noch in einem gallertigen Klumpen, wenn die obere bereits von flüssigem Agar umgeben ist, der selbstverständlich dann schon höhere Temperatur aufweist.

Zusammenfassung.

Fassen wir die Ergebnisse unserer Versuche zusammen, so kann folgendes festgestellt werden:

1. Die für das Abtöten der Keime wichtigen Zeiten sind abhängig von dem Standort des Sterilisiergutes im Autoklaven, der Menge und Verteilung des Sterilisiergutes auf verschieden große Gefäße. Außerdem spielt die Konsistenz eine große Rolle, was vor allem bei den Versuchen mit Stuhl, Sputum und Blut zum Ausdruck kommt.
2. Die Sterilisierzeit größerer Mengen Sterilisiergutes (2 Liter und mehr) in einem oder nur wenigen Gefäßen ist — Wasser und Bouillon ausgenommen, die sich auch dann noch verhältnismäßig rasch erwärmen — so hoch, daß, abgesehen von Zeitverlust und Mehraufwand an Kosten die Sicherheit der Keimabtötung in Frage gestellt ist. Um dies zu vermeiden, soll man große Mengen (2 Liter und mehr) nicht in einem großen, sondern mehreren Gefäßen sterilisieren.
3. In keinem Versuch der ersten Reihe wurde zur gleichen Zeit im freien Raum und am Kaltpunkt der Versuchsanordnung 120° erreicht. Wir stellten jedoch fest, daß bei fehlerfreiem Verlauf und üblicher Füllung für unseren Apparat diese Ausgleichszeit höchstens bis zu 5 Minuten beträgt. Wenn wir also nach dieser Zeit die Sterilisierzeit beginnen lassen, ist die Keimabtötung gesichert. Selbstverständlich muß für jeden Autoklaven dieser Zeitunterschied besonders herausgefunden werden.
4. Außer schlechtem Gasdruck kann unter Umständen die Anordnung der Körbe und die dadurch bedingte langsame Luftaustreibung die Erwärmung verzögern.

Zum Schluß danke ich Herrn Oberstarzt Dozent Dr. Brekenfeld für die Ueberlassung der Arbeit und die tatkräftige Hilfe, die er mir bei der Ausführung gewährte.

Schrifttum.

1. Hailer u. Heiken: Zbl. f. Bakt. — Originale 1929. Bd. 114.
2. Konrich: Zbl. f. Bakt. — Originale 1932. Bd. 126.
3. „ Gesundheits-Ingenieur 1931, Heft 4, 5 und 6.
4. O. Mündel: Archiv f. Hygiene und Bakteriologie, Bd. 117, Heft 5.

Lebenslauf.

Ich bin am 13. Oktober 1913 als Sohn des prakt. Arztes Dr. med. Ewald Beermann und seiner Ehefrau Dorothy geborene Roß zu Düsseldorf geboren. Ich besuchte dort von Ostern 1919 bis Ostern 1923 die Volksschule an der Färberstraße. Von Ostern 1923 bis Weihnachten 1924 besuchte ich das Staatliche Hohenzollern-Gymnasium in Düsseldorf. Von Weihnachten 1924 an gehörte ich der Deutschen Auslandsschule, Privatgymnasium „Stella Matutina" in Feldkirch (Vorarlberg) an, wo ich im Februar 1932 die Reifeprüfung ablegte.

Im Sommersemester 1932 immatrikulierte ich mich an der Universität Würzburg, um Medizin zu studieren, an der ich auch noch das Wintersemester 1932/33 und Sommersemester 1933 belegte. Im Wintersemester 1933/34 und Sommersemester 1934 studierte ich in Greifswald, wo ich im Juli 1934 die ärztliche Vorprüfung ablegte. Am 29. Oktober 1934 trat ich als Freiwilliger in die 7. (Jäger) Komp. I.R. Kolberg ein. Am 16. September 1935 wurde ich als Fahnenjunker (im Sanitätskorps) übernommen. Von meiner freiwilligen Dienstzeit wurde mir ein Semester auf mein Studium angerechnet.

Seit November 1935 studierte ich fünf Semester in Berlin, wo ich im Juli 1938 mein Staatsexamen beendete.